Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Thermal Resistance Measurement

Document D39

Canada

Building Performance Evaluation Series

Thermal Resistance Measurement

Document D39

AES 1-4:86-48

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title THERMAL RESISTANCE MEASUREMENT	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-48
	3. Date March 1988
4. Author(s) T. Colantonio	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D39
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 18
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document provides evaluation techniques to determine the in-situ thermal resistance of wall and roof assemblies. The desired properties of a building can differ from those specified due to inferior materials, poor workmanship or degradation over the life of the structure. Instrumentation and test methods used to determine heat flow through the enclosure assembly are described. They are based upon previous experience of the Building Performance Division. The methods are described in terms of the following three stages of evaluation; 1) Preliminary Assessment, 2) Simple Measurement Techniques and 3) Specialized In-Depth monitoring.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D39	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	1
2.	**TERMS OF REFERENCE**	4
2.1	General Framework	4
2.2	Limitations of Evaluation Technique	4
2.2.1	Calibration	4
2.2.2	Conflicts with HVAC and Air Leakage Testing	5
2.2.3	Steady State Conditions	5
2.2.4	Heat Flows in Wall Cavities	5
2.2.5	Heat Flow Sensors	7
3.	**METHODOLOGY**	7
3.1	Stage I – Preliminary Assessment (Introduction)	7
3.1.1	Description of Techniques	8
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	8
3.2.1	Description of Techniques	8
3.2.2	Equipment	8
3.2.3	Detailed Procedure	8
3.2.4	Assessment	9
3.2.5	Resource Allocation and Timing	9
3.2.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	9
3.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	10
3.3.1	Description of Techniques	10
3.3.2	Equipment	11
3.3.3	Detailed Procedure	11
3.3.4	Assessment	12
3.3.5	Resource Allocation and Timing	14
3.3.6	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	14
4.	**REFERENCES**	15
5.	**APPENDICES**	16
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	16
5.2	Governing Authorities and Regulations	16
5.3	Building Performance Evaluation Document List	18

LIST OF TABLES

3.3.1	Typical Phase Lags for Various Walls and Roofs	13

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

Building envelopes are designed to provide protection from the natural elements and, in conjunction with the mechanical systems, provide the occupants with an acceptable level of thermal comfort. The property of material that restricts heat flow through the building enclosure is the thermal resistance (R) of the composite section of the materials used.

The resistance levels for walls and roofs of a building are selected in advance, however faulty construction and other factors act to degrade the building over time. As a result the actual resistance of a particular assembly is often not the expected level. This difference may have adverse effects on occupant thermal comfort, mechanical systems operation, total energy consumption, and shows up in increased operation and maintenance costs. The measurement of heat flow through the building envelope and the calculation of the thermal resistance will provide valuable data for estimation of energy losses due to observed thermal losses and to make recommendations for possible retrofit action.

The thermal properties in an existing building can differ from values derived in a laboratory due to inferior materials, workmanship or degradation over the life of the structure. Therefore field testing is necessary to verify the thermal performance of building components. Field testing is problematic due to uncontrollable thermal transients, unfamiliarity with the components being tested and multidimensional heatflows that exist in in-situ testing. (9)

The primary objective of this evaluation technique is to determine in-situ thermal resistance of the wall and roof assemblies and determine whether the performance requirements are being achieved. In addition to determining energy losses due to enclosure thermal conductance, the data gathered by these tests should be used to assess the potential for physical deterioration of the building. The determination of the thermal resistance must be done in a non-destructive manner to ensure that the integrity of the structure is not compromised.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

These test procedures are used to determine temperature and heat flow conditions throughout the enclosure assembly. The temperature differences through the enclosure is called the temperature gradient. Since temperature on both the outside and inside of the building enclosure will fluctuate over time the precise determination of this gradient is difficult. The heat flow is also mitigated by the heat storage capacity of the wall which is it's inertia. To simplify these calculations, steady-state parallel heat flow conditions are assumed.

Under these assumed conditions all parallel paths through the wall have the same conductance, all the components have reached steady temperatures, neither storing nor releasing heat, and heat flows through each component in turn under a temperature drop are proportional to the resistance (R) of the component. Under these conditions all the heat that enters the warm side will flow through each component in turn and is carried away from the cold side. In this case the thermal resistance (R) is directly proportional to the magnitude of the driving force (temperature difference between inside and outside) and inversely proportional to the heat flow (q). (7)

Thermal conductivity (k) is a measure of the rate of heat flow through ahomogeneous material. Thermal conductance (C) can be defined for any assembly of material(s) and their thickness. The C-value does not include air films. It can be found by dividing the conductivity (k) by the thickness (cm). The resistance (R) is the reciprocal 1/C. The total resistance of an assembly (the U-value = 1/R) is the cumulative resistance of all the components, two of which are the inside and outside air-films.

The subsequent analysis then involves the application of the steady state equation:

$$R = R_i + \frac{T_{is} - T_{os}}{q} + R_o \qquad \text{(eq. 1)}$$

where: R = Total Resistance of the assembly ($m^2.K/W$)
R_i = air film thermal resistance at the inside surface ($m^2.K/W$)
T_{is} = inside wall surface temperature (°C)
T_{os} = outside wall surface temperature (°C)
q = constant heat flow through the assembly (W/m^2)
R_o = air film thermal resistance at the outside surface ($m^2.K/W$)

In non-laboratory environments, however, steady state conditions can not be generated without exorbitant cost and efforts. An alternative method is to continually monitor the enclosure section until an almost steady state condition is recorded. The time it takes for the wall to reach steady state can vary depending on temperature fluctuations inside and outside and the weight of the wall (or roof). This requires on-going data analysis while the data gathering procedure is underway. If a conventional low mass wall is not subjected to any large temperature fluctuations, an almost steady state will be achieved in 6-10 hours. This method also relies on the fact that the wall will reach a steady state condition while it is being monitored. As a result of the dynamic nature of the environment and the thermal capacitance of the materials, the section may never reach the steady state condition while being monitored if at all. The thermal mass of the structure causes variations in heat flow and temperatures to be out of phase with each other. (1) The more feasible alternative is to use an analysis procedure which will allow for the dynamic nature of the section and yet yield the appropriate resistance levels.

In order to avoid experimental errors due to capacitance effects in the wall, some estimate of the thermal time lag in the wall can be made. An estimate for the thermal time lag for a multilayered wall can be found with the following equation:

$$TC = \left(\sum_{i=1}^{n} C_i X_i\right)^2 / (A\pi^2) \qquad \text{(eq. 2)}$$

where: TC = time constant, hrs.
A = base material thermal diffusivity (m/h)
C_i = ratio of A to thermal diffusivity of other materials in the wall, dimensionless
X_i = thickness of the layer, (m)
N = number of layers (9)

The procedure for the analysis is based on a "running average" relationship. The basic steady state equation (1) is slightly modified to account for time. That is, rather than simply using the instantaneous values, an accumulated average of one section is used. The thermal resistance (R) of the component is determined by dividing the average temperature difference by the average heat flow over a sufficiently long period of time. The time required for the measurement is dependent on the thermal capacity of the components being measured.

The thermal resistance is determined by the following equation derived from equation (1):

$$R_n = R_i + \frac{\sum_{j=1}^{n} (T_{is} - T_{os})_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j} + R_o \qquad \text{(eq. 3)}$$

where: n = time interval (no dimensions)
R_n = Total Resistance of the assembly at time interval n ($m^2.K/W$)
R_i = air film thermal resistance at the inside surface ($m^2.K/W$)
T_{is} = inside wall surface temperature at time interval j (°C)
T_{os} = outside wall surface temperature at time interval j (°C
q = constant heat flow through the assembly at time interval j (W/m^2)
R_o = air film thermal resistance at the outside surface ($m^2.K/W$)

Caution should be exercised in measuring heat flow and temperature differences across a building enclosure with internal air movement. It is inappropriate to refer to the 'resistance' of a building enclosure assembly if a significant portion of the heat flow into that assembly is due to air movement through the assembly.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

To properly determine the appropriate performance levels of the roof and wall assemblies, two basic assembly parameters must be determined – resistance and inertia. Inertia is the elapsed time it takes for an exterior effect (minimum temperature) to create an interior effect (maximum heat flow) due to thermal mass effect of the wall or roof assembly.

The scope of work is as follows:

a) identify locations for testing
b) estimate the time constant of the component to be tested
c) choose the appropriate weather conditions for testing
d) assess the thermal state of the building components by thermography
e) install data logging equipment and sensors to collect temperature and heat flow data
f) analyze data to produce:
   - in–situ resistance value for the wall
   - in–situ resistance value for the roof
   - inertia for the wall
   - inertia for the roof.

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUE

2.2.1 Calibration

A limitation of the technique is the lack of accuracy in the calibration of the heat flow sensors. The accuracy of any data is directly related to the accuracy to which the heat flow meters are calibrated (7). Sensors used in this methodology are assumed to have been calibrated in the factory prior to use but it is unlikely to apply to a particular building measurement. Manufacturer supplied calibration constants for HFS are notorious for being inaccurate over the range of heat flows encountered in building enclosures. Generally, it is recommended that heat flow sensors be calibrated in a situation similar to the conditions of use, including dynamic conditions.

The HFS will have a different conductivity than its surroundings, tending to channel heat flux through it or divert heat flux around it. It can absorb thermal radiation differently than its surroundings thereby disturbing the surface air film coefficient.

2.2.2 Conflicts With HVAC and Air Leakage Testing

The wall monitoring in itself does not affect any other testing which may be underway but the required results are those that occur during normal operating conditions. The data collected, however, is effected by the environment. The monitoring of any section should not be conducted during HVAC and air leakage tests as the induced pressure

differentials would alter the "normal" wall performance. Air movement resulting from forced convection is the indoor heat transfer mode that might contribute errors to the HFS measurements. Any changes to the "normal" operations of the mechanical systems would also have an effect on the data collected (i.e., high internal ambient temperature settings for mechanical system check out would have adverse effects on the validity of the data since this would induce abnormal heat flow conditions). A worst case potential for error can be as high as 33% in the convective component of heat flow between what the HFS senses and what is taking place around it at the point where the flow would have been disturbed by the placement of the HFS. (1)

2.2.3 Steady State Conditions

A temperature difference across the enclosure is required to generate a measurable heat flow. If the mean temperature difference is zero, then the mean heat flow will also be zero.

The quantity measured in these tests are defined under conditions of steady temperatures and heat flows, conditions which do not apply under site conditions. This is dealt with by defining the resistance in terms of appropriate averages of heat flows and temperatures. The thermal mass (inertia) of the structure causes the variations in heat flows and temperatures to be out of phase with each other, requiring that averages are taken over a period of time. Accuracy can therefore be enhanced if measurements are taken during a period of minimum temperature change, carried out for a minimum of 72 hours to get a reasonable "time run average" R – value and during periods of minimal solar gain. Over the period of the field test, any change in heat stored in the structure is much less than the total heat which is passed through it. This will be helped by choosing a number of complete 24–hour periods and improve the longer the duration of the test. Consideration also needs to be given to the frequency of data collection, about every two minutes, so as to properly average relatively high fluctuations. (1)

2.2.4 Heat Flows in Wall Cavities

Ideally heat flow should be measured on the inside surface of the insulation layer. Avoid air spaces between insulation and heat flow meters. Multidimensional heat flows in the wall are also a problem since one dimensional heat flow has been assumed for the calculation. Convective air movement in the wall cavity often extracts heat from the inside wall and delivers it to the top of the wall, resulting in R value calculation errors. (9)

This can be avoided by investigating the area of the wall where testing will take place to ensure their are no anomalies. This is usually done using thermography.

2.2.5 Heat Flow Sensors

The use of heat flow sensors involves some specific problems, such as:

a) additional thermal resistance of the sensor itself
solution: a material has to be chosen having both a sufficiently high thermal resistance and a low thermal capacity.

b) alteration of the wall thermal field
solution: surround the heat flow sensor (HFS) with a material having the same thickness and thermal conductivity as the sensor material.

c) unsteady state conditions occurring during measurements while the HFS has been calibrated in steady state conditions.
solution: a low capacity material (low response time) is employed for the HFS, thus minimizing the heat stored by it. Some additional problems still exist where high frequency changes in temperature occur on the exposed surface of the HFS.

d) difference between radiative properties of the HFS and the wall.
solution: can be partially avoided if the HFS is embedded into the gypsum board and coated with the same paint as the wall. It is very important to maintain a good contact with the surface to be tested. Silicone or aluminum faced tape can be used but their surface characteristics should match those of the wall finish. (9)

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I – PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Description of Techniques

Plan and Archive Analysis

Looking at the as–built drawings, the typical wall section assemblies and roof section assemblies are noted. A theoretical R value is calculated based on the materials present. It can be used as a comparison with the results that will be obtained from testing. An R value can also be obtained from the Project Brief and/or the specifications as another value to be used for comparison.

In order to help in the identification of thermal patterns (during Stage III) associated with conduction, convection, radiation, phase change of water and air movement in and through the building enclosure it will be necessary to understand the construction features of the building; the characteristics of the surface materials and interstitial materials; the direction of energy flow regarding temperature, air pressure and moisture and the orientation of the building and its exterior landscaping.

Thermal resistance measurements are calculated for use on energy analysis models. These models project energy operating cost. These are done by mechanical consultants for the design stage. When the building is in full operation projected energy costs are compared to actual costs.

Expert Walkthrough Analysis

There are six physical environmental factors affecting human comfort in a space:

a) mean radiant temperature
b) air temperature
c) air movement
d) humidity
e) clothing
f) activity.

If a person is too cold or hot in a room, comfort can be improved by changing one of the above factors or making trade–offs among them. The body continuously exchanges heat by radiation with the room surfaces, including the window surface. If the surface is hotter, your body will absorb heat, if the surface is colder, your body will loose heat. Even if the ambient air temperature is at a comfortable level, the body will feel uncomfortable.

During the walkthrough the investigators should notice if any of the occupants are over–dressed or under–dressed, especially on the perimeter areas. Look for any portable heaters or portable fans that might indicate thermal comfort problems near the exterior walls.

3.2 STAGE II – SIMPLE INSTRUMENTATION ANALYSIS

3.2.1 Description of Techniques

Thermal imaging systems (non-measuring) are used to assess the uniformity of the thermal resistance of the building component (refer to D38-THERMOGRAPHIC INSPECTIONS OF BUILDING ENCLOSURES). A detailed interior survey performed from inside the building provides the data to make this qualitative assessment. The investigation provides information pertaining to stud locations, damaged insulation or areas of exfiltration or infiltration. This helps in locating heat flow sensors or thermocouples in areas of the walls which represent a typical section of the enclosure. One typical section of each assembly is selected for testing.

Infrared Scanner

An infrared scanner is used to assess surface temperatures of wall or roof components. The infrared scanner is a hand-held device used to measure the equivalent blackbody temperatures of interior surfaces of exterior walls. They indicate average apparent temperatures for the surfaces being measured. This helps in the location of the heat flow sensors, making sure that they are not placed in locations that might compromise the accuracy of the measurement results, such as stud locations. It will point out where there is non-uniformity in the walls, quantitatively estimate the heat transfer rate at the wall surface (providing surface emittance, film resistance and calibration temperature are known).

Air Velocity Measurement

This procedure has not been employed by PWC during the thermal resistance testing. Air film coefficients from ASHRAE have been assumed. An air velocity measuring device would be helpful to determine the effect of air movement on the building component to be measured. If the temperature difference between a wall and the ambient air is combined with an assumed air film resistance to estimate a surface heat flux, the airflow measurement at the wall is helpful to reduce the uncertainty of film resistance assumptions.

3.2.2 Equipment

a) non measuring thermal imaging systems;
   - Thermovision* 110 non measuring infrared system

b) air flow (velocity) meter
   - TSI model no. 1640
   - KURZ model no. 1440

*Thermovision is a registered trademark of Agema Infrared Systems.

3.2.3 Detailed Procedure

Thermographic Scan

The non-measuring infrared system that PWC has used for this level of investigation is the Thermovision 110. This instrument is a device which creates a two-dimensional thermal image. A hard copy print of the thermal image is obtained from a Polaroid camera attached to the back of the instrument. The prints are analyzed.

Detailed information on the use of the Thermovision 110 is contained in the operators manual included with each unit.

The high resolution measuring infrared systems used were Thermovision 782. These produce a continuous two dimensional thermal map that can be transferred to standard or modified VHS video tape for later playback. Hard copy images can be obtained in the field or from the video playback.

Air Flow Meter

The probe is placed to intercept air flow. Readings are taken for air velocity and static pressure. The air film coefficients can then be adjusted during the calculation procedures.

3.2.4 Assessment

For analysis procedures of thermographic results of interior surfaces of exterior walls refer to D38–THERMOGRAPHIC INSPECTIONS OF BUILDING ENCLOSURES.

Thermographic inspections indicate average apparent temperatures, non–uniformities and qualitative estimates of the heat transfer rate for the surfaces being measured. This information is used to locate heat flow sensors, making sure that they are not placed in locations that are not indicative of typical insulated areas of different enclosure assemblies.

Measurement of air speed is used to adjust thermal transmittance values of the assemblies. Table 10 on page 23.29 of ASHRAE Handbook of Fundamentals – 1981 is a conversion table which can be used for this purpose.

3.2.5 Resource Allocation and Timing

Refer to D38–THERMOGRAPHIC INSPECTIONS OF BUILDING ENCLOSURES for information on resource allocation and timing requirements for infrared inspections.

Plan and archive analysis timing and resource allocation is dependent on the size and complexity of the building in study. For a small building, 1 – 2 person weeks of both a building enclosure specialist and support staff are required to carry out analysis and generate a report. For a large building, 3 – 6 weeks are necessary.

Expert walkthrough analysis timing and resource allocation is dependent on the location of the building as well as the size and complexity. Small building requires one person week of both a building enclosure specialist and support staff. A large building requires two person weeks from the same staff.

3.2.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

A thermographic inspection report along with infrared images of specific areas of chosen wall details are required to locate spots for future thermal resistance measurements. Identification of air flow rates during specific mechanical system operations are required for verification of thermal resistance values for air films of future wall system testing.

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

3.3.1 Description of Techniques

The resistance of a wall or roof assembly is found by measuring the rates of heat flow through the building envelope with heat flow sensors and the temperature difference with thermocouples. The heat flow sensor used by PWC is a combination sensor and thermocouple consisting of a thin, rectangular, wafer-type sensor with hot and cold junctions of an embedded thermo pile attached to its flat surfaces. The thin metal plate of known thermal conductivity is sandwiched between two thermocouples. The thermocouples are wired together so that a temperature differential between the two is achieved. Since the heat flow characteristics of the metal plate are known, the amount of heat flowing through this plate can be easily deduced. The voltage signals generated by the heat flow sensor when exposed to a thermal field are proportional to the rate of heat flow through the sensor.

It is a good idea to use thermography to help select a measuring location that is representative of the assembly. The type and location of the building component is established after studying the as-built drawings and the thermographic records of the scan taken during Stage II analysis. (reference D38-THERMOGRAPHIC INSPECTIONS OF BUILDING ENCLOSURES)

During field measurements, the heat flux sensor is taped on the inside surfaces of interior walls and the roof deck. It is imperative that the sensors are in intimate contact with the inside surface and are covered with the same paint or material used on the wall. Errors will occur if there are gaps between the wall and the sensor or when the radiative exchange between the metered location and other surfaces in the room are not comparable to the subject surface.

The heat flow sensor with "T" type thermocouple and lead wires have all been calibrated in the factory. Factor coefficients are, available from the manufacturer, are used to program the computer and provide correlations with the meter to produce the required results.

Inside and outside surface temperatures are monitored by using thermocouple wire mounted on the surfaces of the building component.

A data acquisition/control unit is used to monitor the output signals from the heat flow sensors. The channels of all transducers are scanned every two seconds and the readings are averaged for each hour by the data logger. At the end of each one hour interval the the computer records the test data as hourly averages on a cassette tape for later input to a mainframe computer for data reduction and analysis. Software is available from PWC that accomplishes this task.

The data will be first transferred from the data logging system onto a VAX 11/780 computer where the analysis program is available. The utility to transfer the data has been purchased from Hewlett Packard. The analysis program - RVAL simply manipulates the data using equation (2). A plotting routine - PLTRVAL has been written to graphically represent the results.

The procedural concept is as follows:

a) install heat flow meters and thermocouples
b) log data over the longest possible period of time.
c) analyze data in the lab or a field office set up for the task.

3.3.2 Equipment

The following is a list of the equipment used in field trips:

a) Hewlett Packard HP3497A Data Acquisition/Control Unit
b) 20 Channel Thermocouple Acquisition Card HP 44422A
c) HP 85B MICRO COMPUTER
   16K Memory Extension Module HP 82903A
   ROM Extension Module HP 82936A
   HP-IB Interface Module HP 82937A
   Serial Interface Module 82939A
d) Several Hundred Feet of T – Type thermocouple wire
e) Heat Flow Sensors.

3.3.3 Detailed Procedure

The choice of appropriate wall and roof sections is an important consideration. If the area chosen as a typical section is in any way defective a false assessment of the overall performance of the building envelope will be created. The section chosen should be subjected to minimum temperature cycles to ensure that reliable data will be collected. South facing walls will, in all probability, be subjected to the greatest temperature swings but if the measurement period is at least three full days, any wall orientation will serve the purpose.

Data collection should only be performed with a temperature differential of 10°C or greater across the enclosure. A more accurate assessment of the minimum temperature difference required can be obtained from an estimate of the 'as built' thermal resistance and the sensitivity of the heat flow sensors.

Wall Study

An infrared scan determines if there are any apparent thermal anomalies.The sensors are installed, oriented in the same horizontal and vertical planes. The important sensors for the determination of the resistance value of the section are those which detect:

a) exterior ambient temperature
b) exterior surface temperature
c) interior surface temperature
d) interior ambient temperature
e) heat flow through the section.

If an air flow meter is not going to be used to calculate the true air film coefficient, a vented masking cone (Styrofoam cup) around the exterior surface temperature

measuring thermocouple is used to alleviate any sudden temperature fluctuations which may arise from wind activity. The "averaging cone" allows the thermocouple to "sense" a truer temperature. The thermocouple on the exterior wall surface is mounted using black silicon. The purpose of the black silicon is to reduce the effect of the difference in emissivities of the thermocouple and the surface. An attempt should be made to duplicate the emissivity of the wall surface to be measured on the surface of the heat flow sensor.

The thermocouple designated for the interior ambient temperature also has an "averaging" cone attached to it for the same reason as discussed above. (Air currents may be induced by people walking past the sensors). The heat flow sensor is placed behind the covering of the interior drywall in an attempt to reduce the effects of the different emissivities of the materials and be behind the surface air film.

The location and the number of sensors will depend on the time allowed for testing, resources available and the type of building components being tested. If there is suspicion of convection within the wall construction, a number of sensors should be placed in a vertical line to help detect the effects of possible convective loops. Once all the sensors are installed in their appropriate locations, they are connected to the thermocouple data acquisition card (according to manufacturers instructions). The sensor number and location are recorded. The datalogging program is started and the process is initiated. Data of daytime and nighttime situations are gathered over as long a period as possible, ideally a minimum of three days.

Roof Study

The roof section chosen for the study should allow for ease of access and have a convenient place for the datalogger itself. With the short leads on the heat flow sensors (about 3m), the datalogger has to be supported close to the ceiling.

As is the case with the wall study, the primary sensor locations are the exterior for ambient and surface temperatures, and the interior ceiling plenum for ambient and surface temperatures as well as the heat flow through the section. No "averaging" cone is required here as the air flow is consistent with the operation of the mechanical systems. Sensors are taped or glued to the underside of the structure.

The same datalogging system routine is used for the roof study as for the wall study (Program DL).

NOTE: If fireproofing has been sprayed onto the underside of the roof deck, then the thermocouple and HFS should be embedded slightly below the surface layer.

3.3.4 Assessment

Voltage to Temperature Conversion (Type "T" thermocouple)

The data collected from the thermocouple will be in the form of a series of voltages that must be converted to temperatures. To do this a program has been written into the HP to calculate the temperature using a power series polynomial.

Heat Flow Measurements

The sensors are read by the data logging system and this output voltage is generally a linear function of heat flow. The multiplication factor that is given by the manufacturer is used to adjust the output based on the temperature of the sensor. The thermal resistance is determined by using equation (3), given in section 1.2 .

Providing that the assembly being studied does not have any thermal deficiencies, equation (2) will generate a converging wave. The wave will eventually converge about the actual in-situ resistance value. The "converged" resistance value will be the same value found in a steady state condition. The collected data for both the wall and roof studies will be analyzed using equation. (3)

Thermal Mass (Inertia) of the Wall and Roof Assemblies

The time "N" required for the measurement will be dependent on the thermal capacity of the component. Light weight components require short periods as measurements stabilize faster, while heavy components require longer periods of time. Required measurement times are correlated with respect to time lags for building materials in table 3.3.1. Here time lag refers to the elapsed time (phase lag) between peak heat flow rate and the maximum temperature difference driving force when a building component is exposed to typical outdoor temperature variations.

COMPONENT	PHASE LAG (HOURS)	REQUIRED MEASUREMENT TIME (DAYS)	DENSITY (kg/m^3)
built-up roof, concrete deck	12	6	3545
built-up roof, steel deck	1	0.5	2260
masonry walls	2.5-9.5	1-5	3285
metal curtain walls	0.2	0.5	

Table 3.3.1 Typical Phase Lags for Various Types of Walls and Roofs

The capacitance values for the roof and wall assemblies are not calculated since the inertia properties of the assemblies better represent the "capacitance" values of the assemblies.

Inertia represents the time delay for an exterior affect to cause an interior effect. In a field study, a mass' thermal inertia would cause the time lag between the occurrence of minimum outdoor temperature and the occurrence of maximum heat-flow rate as recorded. (2) During the datalogging process for the determination of the resistance values for the wall and roof section, heat flow readings and exterior ambient temperatures are recorded. The determination of the 'inertia' is a matter of analyzing the data for the appropriate times each occurs. The time difference between each would yield the thermal inertia. Another program - TIMELAG - (on the VAX system) searches through the data for the appropriate times the maximum heat flow and the minimum exterior ambient temperatures occur.

3.3.5 Resource Allocation and Timing

The field study team will consist of a minimum of two persons, a building scientist and a technician. The following are the main tasks to be accomplished and the time it might take:

Preparation of equipment for field use	2–5 days
Transport equipment out to field	1–2 days
Set up of equipment in field, place sensors	1–2 days
Running tests (per set–up)	3 days (min.)
Spot checking on results	2–3 hrs daily
Dismantle equipment and relocate	1 day
Pack up and return to office	2 days
Analysis of data (1 person)	10 days
Report writing	10 days

3.3.6 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Data is collected on magnetic tape and transferred to micro or mini computer for analysis. Graphs are developed showing the actual thermal resistance value versus time and the running average. The thermal inertia or time lag is graphically deduced from this diagram. A report is produced describing the methodology of data collection and analysis, the exact test locations, and thermographic evidence that the test locations were typical of the specific wall assembly being investigated.

The data obtained from this testing is used in determining accurate energy consumption models for buildings. This information is also used to determine the overall performance of the insulation materials in the different enclosure assemblies throughout the building. Not identified in this testing are problem areas or thermal bridges in the enclosure. These are identified through thermographic inspections and their severity identified through the use of high resolution infrared systems and image processing.

4. REFERENCES

1. Anderson, B.R.; **Methods in use for Testing Thermal Performance in-situ;** Scottish Laboratory, Building Research Establishment Note 85/83

2. Burch, Douglas M., Krutz, Donald F.; **Using High-resolution Hand Held Radiometers to Measure In-situ Thermal Resistances,** Building Physics Division, Center for Building Technology, National Bureau ofStandards, Washington, D.C. 20234.

3. Hewlett Packard Application Note 290 **Practical Temperature Measurements,** August 1980.

4. Stainton, W.D. **Heat Transfer and Building Surface Temperatures,** Feb. 1978

5. Mill, P.A.D.; **Thermographic Diagnosis of Building Envelope Deficiencies** Report No. 28.

6. Grot, R.,Burch, D., Silberstein, S., Galowin, L.; **Measurement Methods for Evaluation of Thermal Integrity of Building Envelopes;**GSA, November 1982.

7. Latta, J.K.; **Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate;** National Research Council of Canada, December 1979.

8. Fracastoro, G.V., Lyberg, M.D.; **Guiding Principles Concerning Design of Experiments, Instrumentation and Measuring Techniques;** Swedish Council For Building Research, Stockholm, Sweden.

9. Roberts, C.C., Reinke, Jr; **Thermal Measurements of Building Envelope Components in the Field;** ASHRAE Journal, March 1982.

10. Bales, Bomberg, M., Courville G.; **Building Applications of Heat Flux Transducers;** ASTM STP 885, Dec. 1985.

11. Flanders, S.N.; **Confidence in Heat Flux Transducer Measurements of Buildings;** ASHRAE Winter Meeting Proceedings, 1985.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

conduction, thermal: process of heat transfer through a material medium in which kinetic energy is transmitted by the particles of the material from particle to particle without gross displacement of the particles.

conductivity (k): time rate of heat flow through unit area and unit thickness of a homogeneous material under steady state conditions when a unit temperature gradient is maintained in the direction perpendicular to area. Material are considered homogeneous when the value of the thermal conductivity is not affected by variation in thickness or size of the same within the range normally used in construction.

decalibration: describes the process of unintentionally altering the physical makeup of the thermocouple wire so that it no longer corresponds to the NBS polynomial within specified limits.

diffusivity: the quantity of heat passing normally through a unit area per unit time divided by the product of specific heat, density, and temperature gradient. Also known as thermometric conductivity.

heat flow sensor: a device which develops a voltage proportional to the heat flow into or out of the surface. Other common terms are heat flux meter, heat flow meter, heat flux transducer.

insulation, thermal: a material having relatively high resistance to heat flow and used principally to retard heat flow.

thermal inertia: the tendency of a massive material to remain at a certain temperature.

thermocouple: a device for measuring temperature, utilizing the fact that an electromotive force is generated whenever two junctions of dissimilar metals in an electric circuit are at different temperature levels.

thermopile: a series of thermocouples

thermal transmittance: the time rate of heat flow per unit area under steady state conditions from the fluid on the warm side of a barrier to the fluid on the cold side, per unit temperature difference between the two fluids. (U)W/m2 deg.C (difference).

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATIONS

a) Measures for Energy conservation in New Buildings, 1978, National Building Code of Canada, gives acceptable RSI values for different regions of the country.

b) ASHRAE Handbook of Fundamentals

c) ASTM C 518 – 76 Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter. This is a standard for laboratory apparatus and has no application to field use heat flow sensors other than as a potential calibration apparatus.

d) ASTM C-168 Standard Definitions of Terms Relating to Thermal Insulation Materials

5.3 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Mesure de la résistance thermique

Document D39

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Mesure de la résistance thermique

Document D39

SAG 1-4:86-48

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document MESURE DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-48
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) T. Colantonio	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D39
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 19
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Ce document fournit les techniques d'évaluations pour déterminer sur place la résistance thermique des murs et des toits. Les propriétés désirées d'un bâtiment peuvent différer des valeurs spécifiées à cause des matériaux ou de la main-d'oeuvre de qualité inférieure, ou de la dégradation du bâtiment avec le temps. Pour déterminer la quantité de chaleur qui s'échappe de la paroi extérieure, l'instrumentation et les méthodes d'essai décrites dans ce document s'appuient sur l'expérience antérieure de la Division du rendement des immeubles. Les méthodes sont composées des trois étapes d'évaluation suivantes : 1) Évaluation préliminaire 2) Techniques simples de mesure, et 3) Monitorage détaillé et spécialisé.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D39	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Buts et objectifs	*1*
1.2	Documentation de base	*1*
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	*4*
2.1	Cadre de travail général	*4*
2.2	Limites de la technique d'évaluation	*4*
2.2.1	Étalonnage	*4*
2.2.2	Interférences causées par les essais de CVCA et de fuite d'air	*4*
2.2.3	Conditions de régime stable	*5*
2.2.4	Écoulement thermique dans les murs	*5*
2.2.5	Capteurs de flux thermique	*6*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*7*
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire (introduction)	*7*
3.1.1	Description des techniques	*7*
3.2	Étape II – Techniques de mesure simples	*8*
3.2.1	Description des techniques	*8*
3.2.2	Appareillage	*8*
3.2.3	Méthode détaillée	*9*
3.2.4	Évaluation	*9*
3.2.5	Affectation du personnel et durées	*9*
3.2.6	Documentation : création et conservation des documents de travail	*10*
3.3	Étape III – Surveillance spécialisée approfondie	*10*
3.3.1	Description des techniques	*10*
3.3.2	Appareillage	*11*
3.3.3	Méthode détaillée	*12*
3.3.4	Évaluation	*13*
3.3.5	Affectation du personnel et durées	*15*
3.3.6	Documentation : création et conservation des documents de travail	*15*
4.	**RÉFÉRENCES**	*16*
5.	**ANNEXES**	*17*
5.1	Termes normalisés et unités de mesure	*17*
5.2	Autorités compétentes et règlements	*17*
5.3	Liste des documents évaluant le rendement des immeubles	*19*

LISTES DE TABLES

3.3.1	Retards de phase pour différents types de murs et toits	*14*

1. INTRODUCTION

1.1 BUTS ET OBJECTIFS

Les enveloppes de bâtiment sont conçues pour fournir une protection contre les éléments naturels et, conjointement avec les installations mécaniques, un niveau acceptable de confort thermique pour les habitants. La propriété du matériau qui limite l'écoulement thermiqueà travers l'enveloppe d'un bâtiment est la résistance thermique (R) de la section composite des matériaux utilisés.

Les niveaux de résistance des murs et des toits d'un bâtiment sont choisis à l'avance; toutefois, une construction défectueuse ainsi que d'autres facteurs ont pour effet de dégrader le bâtiment avec le temps. Il en résulte que la résistance réelle d'un ensemble particulier est souvent inférieure au niveau attendu. Cette différence peut avoir des effets défavorables sur le confort thermique des occupants, le fonctionnement des installations mécaniques ainsi que la consommation totale d'énergie, et se traduit par une augmentation des coûts d'exploitation et d'entretien. La mesure de l'écoulement thermique à travers l'enveloppe de bâtiment et le calcul de la résistance thermique fourniront des données précieuses permettant d'évaluer les pertes d'énergie causées par des pertes thermiques observées, et de faire des recommandations en vue d'une réadaptation possible.

Les propriétés thermiques d'un bâtiment existant peuvent différer des valeurs obtenues en laboratoire à cause de matériaux ou main-d'oeuvre de qualité inférieure, ou de la dégradation du bâtiment avec le temps. Il est donc nécessaire de procéder à des essais sur place afin de vérifier le rendement thermique des composants d'un bâtiment. La mise à l'essai sur place pose plusieurs problèmes à cause de facteurs thermiques transitoires incontrôlables, d'une connaissance insuffisante des composants mis à l'essai et des écoulements thermiques multidimensionnels qui existent dans les essais sur place. (9)

L'objectif principal de cette technique d'évaluation consiste à déterminer sur place la résistance thermique des murs et des toits et à déterminer si les exigences de rendement sont respectées. En plus de déterminer les pertes d'énergie causées par la conductance thermique de l'enveloppe, les données recueillies pendant ces essais devraient servir à l'évaluation de la détérioration physique potentielle du bâtiment.

L'évaluation de la résistance thermique doit être effectuée d'une manière non destructive afin de s'assurer que l'intégrité du bâtiment n'est pas altérée.

1.2 DOCUMENTATION DE BASE

Ces méthodes d'essai sont utilisées afin de déterminer les conditions d'écoulement thermique et de température dans toute l'enveloppe. On appelle gradient des températures les différences de température à travers l'enveloppe. Comme la température à l'extérieur et à l'intérieur de l'enveloppe de bâtiment varie avec le temps, il est difficile d'évaluer ce gradient avec précision. L'écoulement thermique est aussi atténué par la capacité de stockage thermique du mur qui constitue son inertie. Pour simplifier ces calculs, on suppose des conditions d'écoulement thermique parallèle en régime stable.

Suivant cette hypothèse, tous les trajets parallèles à travers le mur ont la même conductance, tous les composants ont atteint des températures stables, n'emmagasinant ni ne libérant de la chaleur, et la chaleur s'écoule à travers chaque composant qui subit lui-même une baisse de température proportionnelle à sa résistance (R). Dans ces conditions, toute la chaleur qui pénètre par le côté chaud s'écoule successivement à travers chaque composant et est véhiculée hors du côté froid. Dans un tel cas, la résistance thermique (R) est directement proportionnelle à la grandeur de la force d'entraînement (la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur) et inversement proportionnelle à l'écoulement thermique (q). (7)

La conductivité thermique (k) est une mesure du flux thermique à travers un matériau homogène. On peut définir la conductance thermique (C) pour n'importe quel ensemble de matériaux et leur épaisseur. La valeur C ne comprend pas les pellicules d'air. On peut la trouver en divisant la conductivité (k) par l'épaisseur (cm). La résistance (R) est l'inverse de C. La résistance totale d'un ensemble (la valeur U = 1/R) est la résistance cumulative de tous les composants, dont deux sont les pellicules d'air intérieure et extérieure.

L'analyse subséquente exige alors l'application de l'équation en régime stable :

$$R = R_i + \frac{T_{is} - T_{os}}{q} + R_o \qquad \text{(éq. 1)}$$

où :
- R = résistance totale de l'assemblage ($m^2.K/W$)
- R_i = résistance thermique de la pellicule d'air intérieure($m^2.K/W$)
- T_{is} = température de la surface intérieure du mur (°C)
- T_{os} = température de la surface extérieure du mur (°C)
- q = écoulement de chaleur constant à travers l'assemblage (W/m^2)
- R_o = résistance thermique de la pellicule d'air extérieure($m^2.K/W$)

Toutefois, dans des milieux hors laboratoire, on ne peut reproduire des conditions de régime stable qu'au prix de sommes d'argent et d'efforts démesurés. Une autre méthode consiste à enregistrer de façon continue la section de l'enveloppe jusqu'à ce qu'un régime pratiquement stable soit observé. Le temps que prend un mur à atteindre un régime stable peut varier suivant les fluctuations de température à l'intérieur et à l'extérieur et la masse du mur (ou du toit). Ceci rend nécessaire une analyse continue des données pendant que l'opération de rassemblement des données est en cours. Si un mur ordinaire de faible masse n'est pas soumis à d'importantes fluctuations de température, un régime pratiquement stable sera atteint en 6 – 10h. Cette méthode repose aussi sur le fait que le mur atteindra un régime stable pendant l'enregistrement. À cause de la nature dynamique du milieu et de la capacitance thermique des matériaux, la section peut ne pas atteindre un régime stable pendant l'enregistrement des données et même ne jamais l'atteindre du tout. La masse thermique du bâtiment fait que les variations d'écoulement thermique et de température sont déphasées les unes par rapport aux autres. (1) L'autre solution plus réalisable consiste à utiliser une méthode d'analyse qui tient compte de la nature dynamique de la section tout en donnant les niveaux de résistance appropriés.

Afin d'éviter les erreurs expérimentales causées par les effets de capacitance dans le mur, on peut effectuer une évaluation du retard thermique du mur. On peut évaluer le retard thermique d'un mur multicouche à partir de l'équation suivante :

$$TC = \left(\sum_{i=1}^{n} C_i X_i\right)^2 / (A\pi^2) \qquad \text{(éq. 2)}$$

où :
- TC = constante de temps (h)
- A = diffusivité thermique du matériau de base (m/h)
- C_i = rapport de A à la diffusivité thermique des autres matériaux du mur (sans dimensions)
- X_i = épaisseur de la couche (m)
- n = nombre de couches (9)

La méthode d'analyse repose sur une relation de "moyenne continue". On modifie légèrement l'équation de base de régime stable (1) pour tenir compte du temps, c'est-à-dire qu'au lieu de se servir tout simplement de valeurs instantanées, on utilise une moyenne accumulée d'une section. On détermine la résistance thermique (R) d'un composant en divisant la différence de température moyenne par l'écoulement thermique moyen pendant une période suffisamment longue. Le temps nécessaire à la mesure dépend de la capacité thermique des composants mesurés.

On détermine la résistance thermique à l'aide de l'équation suivante, tirée de l'équation (1):

$$R_n = R_i + \frac{\sum_{j=1}^{n} (T_{is} - T_{os})_j}{\sum_{j=1}^{n} q_j} + R_o \qquad \text{(éq. 3)}$$

où :
- n = intervalle de temps (sans dimensions)
- R_n = résistance totale de l'assemblage pendant l'intervalle de temps n ($m^2.K/W$)
- R_i = résistance thermique de la pellicule d'air intérieure ($m^2.K/W$)
- T_{is} = température de la surface intérieure du mur pendant l'intervalle de temps j (°C)
- T_{os} = température de la surface extérieure du mur pendant l'intervalle de temps j (°C)
- q = écoulement thermique constant à travers l'ensemble pendant l'intervalle de temps j (W/m^2)
- R_o = résistance thermique de la pellicule d'air extérieure ($m^2.K/W$)

Il faut faire très attention lorsqu'on mesure l'écoulement thermique et des différences de température à travers une enveloppe de bâtiment où il y a des déplacements d'air internes. Il est inapproprié de parler de la "résistance" d'un ensemble enveloppe de bâtiment si une partie importante de l'écoulement thermique dans l'enveloppe est causé par un déplacement d'air à travers celle-ci.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE DE TRAVAIL GÉNÉRAL

Pour déterminer correctement les niveaux de rendement appropriés des toits et des murs, on doit déterminer deux paramètres de base, soit la résistance et l'inertie. On définit l'inertie comme étant le temps nécessaire pour qu'un effet extérieur (température minimale) ait un effet intérieur (écoulement thermique maximal) à cause de l'effet de la masse thermique d'un mur ou d'un toit.

Le cadre du travail est le suivant:

a) identifier les emplacements pour la mise à l'essai
b) évaluer la constante de temps du composant mis à l'essai
c) choisir les conditions atmosphériques appropriées pour la mise à l'essai
d) évaluer par thermographie l'état thermique des composants de bâtiment
e) installer l'enregistreur de données et les capteurs afin de recueillir les données de température et de flux thermique
f) analyser les données pour obtenir:
   - la valeur de résistance in situ du mur
   - la valeur de résistance in situ du toit
   - l'inertie du mur
   - l'inertie du toit

2.2 LIMITES DE LA TECHNIQUE D'ÉVALUATION

2.2.1 Étalonnage

L'une des limites de la technique est le manque de précision de l'étalonnage des capteurs de flux thermique. La précision des données dépend directement de la précision avec laquelle on a étalonné les fluxmètres thermiques (7). On suppose que les capteurs utilisés dans cette méthode ont été étalonnés au préalable en usine, mais il est peu probable que cela puisse être utile aux mesures dans un bâtiment particulier. Il est bien connu que les constantes d'étalonnage fournies par les fabricants pour les CFT manquent de précision dans la gamme des flux thermiques rencontrés dans les enveloppes de bâtiment. On recommande généralement d'étalonner les capteurs de flux thermique dans une situation similaire aux conditions d'utilisation, y compris les conditions dynamiques.

Le CFT aura une conductivité différente de celle du milieu environnant, et tendra à canaliser le flux thermique à travers lui-même ou à le dévier autour de lui-même. Le CFT peut absorber le rayonnement thermique d'une manière différente que le milieu environnant, modifiant ainsi le coefficient de la pellicule d'air de surface.

2.2.2 Interférences causées par les essais de CVCA et de fuite d'air

En soi, la surveillance d'un mur n'a aucun effet sur tout autre essai qui pourrait être en cours, mais les résultats requis sont ceux qui surviennent lors de conditions

d'exploitation normales. Toutefois, les données recueillies sont influencées par le milieu ambiant. On ne devrait pas procéder à une surveillance de quelque section que ce soit pendant des essais de CVCA et de fuite d'air, puisque les différentiels de pression produits modifieraient le rendement "normal" du mur. Un déplacement d'air produit par une convection forcée est le mode de transmission de chaleur interne qui pourrait apporter des erreurs dans les mesures du CFT. Tout changement dans le fonctionnement "normal" des installations mécaniques influerait également sur les données recueillies (c'est-à-dire qu'un réglage élevé de la température ambiante interne pour une vérification des installations mécaniques aurait un effet défavorable sur la validité des données, étant donné qu'il produirait des conditions d'écoulement thermique anormales). Dans le pire des cas, le potentiel d'erreur peut atteindre jusqu'à 33% dans le composant de convection de l'écoulement thermique entre ce que le CFT détecte et ce qui se produit autour de celui-ci au point où l'écoulement aurait été perturbé par l'installation du CFT. (1)

2.2.3 Conditions de régime stable

Une différence de température à travers l'enveloppe est nécessaire pour produire un écoulement thermique mesurable. Si la différence moyenne de température est nulle, l'écoulement thermique aussi sera nul.

Les quantités mesurées pendant ces essais sont définies dans des conditions de température et d'écoulement thermique stables, conditions qu'on ne retrouve pas sur place. On résoud ce problème en définissant la résistance en termes de moyennes appropriées d'écoulements thermiques et de températures. La masse thermique (l'inertie) de l'enveloppe fait que les variations d'écoulement thermique et de température sont déphasées les unes par rapport aux autres, ce qui exige que les moyennes soient prises sur une certaine période. On peut donc obtenir une plus grande précision si les mesures sont prises pendant une période de changement de température minimal, effectuées pendant une période minimale de 72 heures afin d'obtenir une valeur moyenne réaliste de R sur une période continue et pendant des périodes de gain solaire minimal. Pendant la période de l'essai sur place, tout changement de la chaleur emmagasinée par l'enveloppe est de beaucoup inférieur à la chaleur totale qui la traverse. Il serait alors utile de choisir des périodes complètes de 24 heures et les résultats seront d'autant meilleurs que l'essai sera plus long. On devra de plus tenir compte de la fréquence de cueillette des données, soit environ une fois toutes les 2 minutes, afin d'obtenir une moyenne adéquate des fluctuations relativement élevées. (1)

2.2.4 Écoulement thermique dans les cavités murales

Idéalement, on devrait mesurer l'écoulement thermique à la surface intérieure de la couche d'isolant. On doit éviter les lames d'air entre l'isolation et les fluxmètres thermiques. Les écoulements thermiques multidimensionnels dans le mur posent aussi un problème puisqu'on a supposé un écoulement thermique unidimensionnel dans les calculs. Souvent, un déplacement d'air par convection dans la cavité murale extrait de la chaleur du mur intérieur et la transmet jusqu'au haut du mur, faussant ainsi les calculs de la valeur de R. (9)

On peut éviter ceci en s'assurant que l'aire du mur où s'effectueront les essais ne présente aucune anomalie. On procède généralement à cette vérification par thermographie.

2.2.5 Capteurs de flux thermique

L'utilisation de capteurs de flux thermique pose certains problèmes particuliers, tels que:

a) une résistance thermique additionnelle du capteur même
Solution : Choisir un matériau qui a à la fois une résistance thermique suffisamment élevée et une faible capacité thermique.

b) modification du champ thermique du mur.
Solution : Entourer le capteur de flux thermique (CFT) d'un matériau de même épaisseur et de même conductivité thermique que le matériau du capteur.

c) des conditions de régime non stable se produisant pendant la prise des mesures alors que le CFT a été étalonné dans des conditions de régime stable.
Solution : Utiliser pour le CFT un matériau de faible capacité (temps de réponse faible), ce qui réduit la quantité d'énergie qu'il emmagasine. Il existe certains problèmes additionnels lorsque des variations très fréquentes de température se produisent sur la surface exposée du CFT.

d) différence entre les propriétés de rayonnement du CFT et celles du mur.
Solution : On peut éviter partiellement ce problème si le CFT est encastré dans le panneau de plâtre et recouvert de la même peinture que le mur. Il est très important de maintenir un bon contact avec la surface à vérifier. On peut utiliser du ruban gommé à face de silicone ou d'aluminium, mais les caractéristiques de leur surface devraient être assorties à celles de la finition du mur. (9)

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

3.1.1 Description de la technique

Analyse des plans en archives

En regardant les dessins conformes à l'exécution, on remarquera les ensembles représentatifs de sections de mur et de sections de toit. On calcule une valeur théorique de R à partir des matériaux utilisés. On peut utiliser cette valeur de R pour fins de comparaison avec les résultats qui seront obtenus à la suite de l'essai. On peut aussi obtenir une valeur de R en consultant le résumé du projet ou les plans et devis, cette valeur pouvant aussi servir à des fins de comparaison.

Afin de faciliter l'identification des images thermiques (au cours de l'Étape III) relatives à la conduction, la convection, au rayonnement, au changement de phase de l'eau et au déplacement de l'air dans et à travers l'enveloppe de bâtiment, il sera nécessaire de comprendre les caractéristiques de construction de l'immeuble, les caractéristiques des matériaux de surface et des matériaux interstitiels, la direction de l'écoulement énergétique quant à la température, la pression d'air et le degré d'humidité, ainsi que l'orientation de l'immeuble et son aménagement paysager.

On calcule les mesures des résistances thermiques en vue de les utiliser sur des modèles d'analyse énergétique. Ces modèles permettent de prévoir les coûts d'exploitation de l'énergie. Ils sont élaborés par des ingénieurs conseils en mécanique au cours de l'étape de la conception. Lorsque l'immeuble est en pleine exploitation, on compare les coûts de l'énergie prévus aux coûts réels.

Analyse technique sur place

Il y a six facteurs physiques du milieu qui influence sur le confort des occupants d'un espace:

a) ta température radiante moyenne
b) la température de l'air
c) le déplacement de l'air
d) le degré d'humidité
e) l'habillement
f) l'activité

Si une personne a trop chaud ou trop froid dans une pièce, on peut améliorer son confort en modifiant un des facteurs ci–dessus ou en faisant des échanges entre ceux–ci. Le corps humain échange continuellement de la chaleur par rayonnement avec les surfaces de la pièce, y compris la surface des fenêtres. Si la surface est plus chaude, le corps absorbe de la chaleur, si la surface est plus froide, le corps cède de la chaleur. Même si la température ambiante de l'air est à un niveau confortable, la personne ne ressentira pas une impression de confort.

Pendant l'examen sur place, les enquêteurs devraient noter si les occupants portent trop ou pas assez de vêtements, surtout dans les zones périmétriques. Ils devraient aussi noter la présence de radiateurs ou de ventilateurs portatifs, susceptibles d'indiquer des problèmes de confort thermique près des murs extérieurs.

3.2 ÉTAPE II – ANALYSE À L'AIDE D'INSTRUMENTATION SIMPLE

3.2.1 Description de la technique

On utilise des systèmes d'images thermiques (non mesureurs) pour évaluer l'uniformité de la résistance thermique des composants des bâtiments (voir le rapport D38 – INSPECTIONS PAR THERMOGRAPHIE DE L'ENCEINTE D'UN IMMEUBLE). Une étude détaillée de l'intérieur du bâtiment fournit des données à partir desquelles on peut réaliser cette évaluation qualitative. L'étude fournit des renseignements relatifs à l'emplacement des poteaux, la présence d'isolant endommagé ou les zones par où l'air s'échappe à l'extérieur ou s'infiltre à l'intérieur. Ceci permet de déterminer l'emplacement des capteurs de flux thermique ou des thermocouples dans les parties de mur représentant une section caractéristique de l'enveloppe. On choisit une section caractéristique de chaque ensemble pour les essais.

Analyseur infrarouge

On utilise un analyseur infrarouge pour évaluer les températures de surface des composants de mur ou de toit. L'analyseur infrarouge est un appareil portatif qui sert à mesurer les températures équivalentes d'un corps noir. Il indique les températures moyennes apparentes des surfaces mesurées. Ceci est très utile pour déterminer l'emplacement des capteurs de flux thermique, de façon à s'assurer qu'ils ne sont pas installés en des endroits où la précision des résultats mesurés serait compromise, près des poteaux par exemple. Il indique les points de non-uniformité dans les murs, évalue de façon quantitative le taux de transmission de chaleur à la surface du mur (pourvu que l'émittance de la surface, la résistance de la pellicule et la température d'étalonnage soient connues).

Cette méthode n'a pas été utilisée par TPC au cours des essais de résistance thermique. On a tiré les coefficients de pellicule d'air des manuels de l'ASHRAE. Un appareil de mesure de la vitesse de l'air serait utile pour déterminer les effets du déplacement de l'air sur le composant à mesurer. Si on combine la différence de température entre un mur et l'air ambiant avec une résistance de la pellicule d'air supposée afin d'évaluer un flux thermique de surface, la mesure du déplacement de l'air près du mur est utile pour réduire l'incertitude sur les hypothèses de la résistance de la pellicule.

3.2.2 Appareillage

a) systèmes non mesureurs d'images thermiques – Thermovision* 110
*Thermovision 110 est la marque de commerce pour la compagnie Agema Infrared Systems

b) débitmètre de déplacement de l'air (vitesse)
- TSI, modèle no 1640
- KURZ, modèle no 1440

3.2.3 Méthode détaillée

Balayage thermographique

Pour cette étape d'enquête, PTC a utilisé le système infrarouge non mesureur Thermovision 110. Il s'agit d'un appareil qui produit une image thermique bidimensionnelle. On peut obtenir une copie sur papier de l'image thermique en utilisant un appareil-photo Polaroid fixé au dos de l'instrument. On analyse ensuite ces copies imprimées.

On trouvera des informations détaillées sur l'utilisation du Thermovision 110 dans le manuel de l'opérateur inclus avec chaque appareil.

On a utilisé les systèmes infrarouges mesureurs à haute résolution Thermovision 782. Ils produisent une carte thermique bidimensionnelle qu'on peut enregistrer avec un magnétoscope VHS standard ou modifié, pour fins de lecture ultérieure. On peut obtenir des copies imprimées sur place ou à partir de la lecture du magnétoscope.

Débitmètre de déplacement de l'air

On place une sonde de façon à intercepter le déplacement d'air. On peut alors faire des lectures de la vitesse de l'air et de la pression statique. On peut ajuster les coefficients de la pellicule d'air pendant qu'on effectue les calculs.

3.2.4 Analyse et évaluation

Les méthodes d'analyse des résultats thermographiques des surfaces intérieures de murs extérieurs sont décrites dans le rapport D38 – INSPECTIONS PAR THERMOGRAPHIE DE L'ENCEINTE D'UN IMMEUBLE.

Les inspections thermographiques indiquent des températures apparentes moyennes, des manques d'uniformité et des évaluations qualitatives du taux de transmission de chaleur pour les surfaces mesurées. On utilise ces renseignements pour déterminer l'emplacement des capteurs de flux thermique, de façon à s'assurer qu'ils ne sont pas installés à des endroits qui ne sont pas représentatifs des aires isolées des différents ensembles constitutifs de l'enveloppe.

On utilise la mesure de la vitesse de l'air afin d'ajuster les valeurs de transmittance thermique des ensembles. À cette fin, on utilisera le tableau 10 tiré de la page 23.29 du manuel de l'ASHRAE, Handbook of Fundamentals (1981).

3.2.5 Affectation du personnel et durées

On trouvera dans le rapport D38 – INSPECTIONS PAR THERMOGRAPHIE DE L'ENCEINTE D'UN IMMEUBLE des informations sur les exigences d'affectation du personnel et de durée pour les inspections par infrarouges.

La durée requise pour l'analyse des plans et archives et l'affectation du personnel dépendent de la taille et de la complexité du bâtiment à l'étude. Pour un petit bâtiment, de 1 à 2 personnes-semaines d'un spécialiste en enveloppes de bâtiment et

d'un membre du personnel de soutien seront requises pour effectuer l'analyse et produire un rapport. Pour un grand bâtiment, de 3 à 6 personnes–semaines seront nécessaires.

La durée de l'analyse technique sur place et l'affectation du personnel dépendent tant de l'emplacement du bâtiment que de sa taille et de sa complexité. Un petit bâtiment exigera 1 personne–semaine d'un spécialiste en enveloppes de bâtiment et d'un membre du personnel de soutien, alors qu'un grand bâtiment exigera 2 personnes–semaines du même personnel.

3.2.6 Documentation : création et conservation des documents de travail

Un rapport d'examen thermographique accompagné de thermogrammes de zones spécifiques de détails choisis de mur est requis pour localiser les points devant servir aux mesures de la résistance thermique. L'identification des débits d'air au cours du fonctionnement d'installations mécaniques particulières est requise pour la vérification des valeurs de résistance thermique des pellicules d'air ou pour les essais ultérieurs de systèmes de murs.

3.3 SURVEILLANCE SPÉCIALISÉE APPROFONDIE

3.3.1 Description des techniques

On trouve la résistance d'un mur ou d'un toit en mesurant les flux thermiques à travers l'enveloppe du bâtiment à l'aide de capteurs de flux thermique et la différence de température à l'aide de thermocouples. Le capteur de flux thermique utilisé par TPC est un capteur combiné avec un thermocouple, constitué d'un mince élément détecteur rectangulaire de type à tranches, avec les jonctions chaude et froide d'une thermopile encastrée, fixée à ses surfaces planes. La mince plaque de métal de conductivité thermique connue est prise en sandwich entre deux thermocouples. Les thermocouples sont reliés par un fil de sorte qu'on peut obtenir un différentiel de température entre les deux. Étant donné que les caractéristiques d'écoulement thermique de la plaque de métal sont connues, il est facile de déduire la quantité de chaleur qui traverse cette plaque. Les signaux de tension produits par le capteur de flux thermique lorsque celui–ci est exposé à un champ thermique sont proportionnels au flux thermique qui traverse le capteur.

L'utilisation de la thermographie facilite le choix des emplacements de mesure représentatifs. On établit le type et l'emplacement d'un composant de bâtiment après l'étude des dessins conformes à l'exécution et des relevés thermographiques de l'analyseur pris durant l'analyse de l'étape II. (Voir le rapport D–38 – INSPECTIONS PAR THERMOGRAPHIE DE L'ENCEINTE D'UN IMMEUBLE.)

Pour les mesures sur place, on fixe à l'aide de ruban gommé le capteur de flux thermique sur les surfaces intérieures des murs intérieurs et du support de couverture. Il est indispensable que les capteurs soient en contact étroit avec la surface intérieure et recouverts de la même peinture ou du même matériau que celui utilisé sur le mur. Des erreurs se produiront s'il y a des vides entre le mur et le capteur ou si l'échange de

chaleur rayonnante entre l'emplacement mesuré et d'autres surfaces de la pièce n'est pas comparable à la surface étudiée.

Les capteurs de flux thermique avec thermocouple de type T et fils conducteurs ont tous été étalonnés en usine. On utilise les coefficients fournis par le fabricant pour programmer l'ordinateur et fournir des corrélations avec l'appareil de mesure afin de produire les résultats requis.

Pour les mesures sur place, on fixe à l'aide de ruban gommé le capteur de flux thermique sur les surfaces intérieures des murs intérieurs et du support de couverture. Il est indispensable que les capteurs soient en contact étroit avec la surface intérieure et recouverts de la même peinture ou du même matériau que celui utilisé sur le mur. Des erreurs se produiront s'il y a des vides entre le mur et le capteur ou si l'échange de chaleur rayonnante entre l'emplacement mesuré et d'autres surfaces de la pièce n'est pas comparable à la surface étudiée.

Les capteurs de flux thermique avec thermocouple de type T et fils conducteurs ont tous été étalonnés en usine. On utilise les coefficients fournis par le fabricant pour programmer l'ordinateur et fournir des corrélations avec l'appareil de mesure afin de produire les résultats requis.

On enregistre les températures des surfaces intérieure et extérieure en utilisant un fil de thermocouple monté sur les surfaces du composant de bâtiment.

On utilise un appareil de collecte et de contrôle des données pour enregistrer les signaux de sortie venant des capteurs de flux thermique. Les canaux de tous les transducteurs sont balayés toutes les 2 secondes et une moyenne des lectures pour chaque heure est calculée par l'enregistreur de données. À la fin de chaque intervalle d'une heure, l'ordinateur enregistre sur une cassette les données d'essai comme moyennes horaires pour alimenter ensuite un ordinateur principal en vue de la réduction et de l'analyse des données. On peut obtenir de TPC un logiciel qui effectue cette tâche.

Les données sont d'abord transférées du système d'enregistrement de données à un ordinateur VAX 11/780 où on dispose du programme d'analyse. L'installation servant au transfert des données a été achetée par Hewlett Packard. Le programme d'analyse RVAL manipule simplement les données en utilisant l'équation (2). Un sous-programme de traçage PLTRVAL a été rédigé pour représenter graphiquement les résultats.

La méthode se résume donc comme suit :

a) installer les capteurs de flux thermique et les thermocouples;
b) enregistrer des données sur la plus longue période possible;
c) analyser les données au laboratoire ou dans un bureau aménagé sur place pour cette tâche.

3.3.2 Appareillage

Voici une liste des appareils utilisés pour les examens sur place :

a) Appareil de collecte et de contrôle des données Hewlett Packard HP 3497A
b) Carte de collecte de thermocouple à 20 canaux HP 44422A

c) MICRO–ORDINATEUR HP 85B
Module d'extension de mémoire de 16K HP82903A
Module d'extension de mémoire morte HP82936A
Module d'interface HP–IB HP82937A
Module d'interface sériel 82939A
d) Plusieurs centaines de pieds de fil de thermocouple de type T
e) Capteurs de flux thermique

3.3.3 Méthode détaillée des mesures sur place

Le choix des sections appropriées de mur et de toit est un facteur important à considérer. En effet, si on choisit comme section représentative une section défectueuse de quelque façon, on obtiendra une fausse évaluation du rendement thermique global de l'enveloppe de bâtiment. La section choisie devrait être soumise à un minimum de cycles de température pour que les données recueillies soient fiables. Selon toute probabilité, les murs orientés au sud seront soumis aux plus grands écarts de température, mais si la période des mesures couvre au moins trois jours complets, on peut utiliser n'importe quel mur pour les mesures, quelle que soit son orientation.

La collecte des données ne devrait être effectuée qu'avec un différentiel de température de 10°C ou plus à travers l'enveloppe. On peut obtenir une évaluation plus précise de la différence de température minimale requise à partir d'une évaluation de la résistance thermique "conforme à l'exécution" et de la sensibilité des capteurs de flux thermique.

Étude du mur

Une analyse infrarouge permet de déterminer s'il y a quelque anomalie thermique apparente. On installe les capteurs, orientés dans les mêmes plans horizontal et vertical. Les capteurs importants pour la détermination de la valeur de la résistance sont ceux qui détectent:

a) la température ambiante extérieure
b) la température de la surface extérieure
c) la température de la surface intérieure
d) la température ambiante intérieure
e) le flux thermique à travers la section

Si un débitmètre d'air ne peut être utilisé pour calculer le vrai coefficient de la pellicule d'air, on installe un cône de masquage ventilé (un verre de styromousse) autour du thermocouple qui mesure la température de la surface extérieure afin d'atténuer toute fluctuation soudaine de température attribuable à l'activité du vent. Ce "cône intégrateur" permet au thermocouple de "détecter" une température plus vraie. On installe à l'aide de silicium noir le thermocouple sur la surface du mur extérieur. Le rôle du silicium noir est de réduire l'effet de la différence des pouvoirs émissifs du thermocouple et de la surface. Il faut s'efforcer de reproduire sur la surface du capteur de flux thermique le même pouvoir émissif que celui de la surface de mur à mesurer.

Le thermocouple servant à la mesure de la température ambiante intérieure est aussi muni d'un cône "intégrateur" pour la même raison mentionnée précédemment. (Le

déplacement des personnes dans le voisinage des capteurs peut produire des courants d'air.) On place le capteur thermique derrière le revêtement de la cloison sèche intérieure de façon à réduire les effets des pouvoirs émissifs différents des matériaux, et derrière la pellicule d'air de surface.

L'emplacement et le nombre des capteurs dépendent du temps alloué pour l'essai, du personnel disponible et des types de composants de bâtiment à vérifier. Si on soupçonne qu'il y a convection à l'intérieur d'un mur, on devrait placer un certain nombre de capteurs sur une verticale de façon à détecter les effets de boucles de convection possibles. Après avoir installé les capteurs à leurs emplacements appropriés, on les relie à la carte de collecte de données du thermocouple (suivant les instructions du fabricant). On enregistre le numéro du capteur et son emplacement. On met en route le programme d'enregistrement des données et on amorce le processus. On recueille des données de jour et de nuit sur une période aussi longue que possible, idéalement un minimum de trois jours.

Étude du toit

La section de toit choisie pour l'étude doit permettre un accès facile et offrir un endroit pratique pour l'enregistreur de données lui-même. Avec des fils conducteurs courts des capteurs de flux thermique (environ 3 m), l'enregistreur de données doit être soutenu près du plafond.

Comme pour le cas de l'étude d'un mur, les emplacements principaux des capteurs sont l'extérieur pour les températures ambiante et de surface, et le plenum du faux plafond intérieur pour les températures ambiante et de surface de même que pour l'écoulement thermique à travers la section. Aucun cône "intégrateur" n'est requis ici étant donné que l'écoulement de l'air est compatible avec le fonctionnement des installations mécaniques. On fixe les capteurs à l'aide de ruban gommé ou on les colle sur le côté intérieur de la charpente.

On utilise pour l'étude du toit le même sous-programme d'enregistrement des données que pour l'étude du mur (Programme DL).

REMARQUE : Si un matériau ignifuge a été vaporisé sur le côté intérieur du support de couverture, le thermocouple et le CFT devraient alors être encastrés légèrement sous la couche de surface.

3.3.4 Méthodes d'analyse et d'évaluation

Conversion des tensions en températures (thermocouple de type T)

Les données recueillies à partir du thermocouple auront la forme d'une série de tensions qui doivent être converties en températures. Pour ce faire, un programme a été rédigé dans le HP pour calculer la température à l'aide d'un polynôme en série de puissances.

Mesures du flux thermique

Les capteurs sont lus par le système d'enregistrement des données et cette tension de sortie est généralement une fonction linéaire du flux thermique. On utilise le facteur de

multiplication donné par le fabricant pour ajuster la tension de sortie d'après la température du capteur. On détermine la résistance thermique à partir de l'équation (3), donnée à la section 1.2.

Pourvu que l'ensemble à l'étude ne présente aucune défectuosité thermique, l'équation (2) devrait produire une onde convergente. Cette onde convergera finalement vers la valeur réelle de la résistance in situ. Cette valeur de résistance sera la même que celle trouvée en régime stable. On analyse ensuite à l'aide de l'équation (3) les données recueillies pour les études de mur et de toit.

Masse thermique (inertie) des ensembles de mur et de toit

Le temps N requis pour la mesure dépend de la capacité thermique du composant. Les composants de faible densité peuvent être mesurés en peu de temps car les mesures se stabilisent plus vite, alors que les composants denses exigent de plus longues périodes. La table 3.3.1 donne la corrélation entre les temps de mesure requis et les retards thermiques des matériaux de construction. Le retard thermique correspond ici au temps écoulé (retard de phase) entre le flux thermique de pointe et la force d'entraînement de la différence maximale de température lorsqu'un composant de bâtiment est exposé aux variations caractéristiques de température extérieure.

COMPOSANT	RETARD DE PHASE (HEURES)	TEMPS DE MESURE REQUIS (JOURS)	MASSE VOLUMIQUE (kg/m^3)
étanchéité multicouche, platelage de béton	12	6	3545
étanchéité multicouche, platelage d'acier	1	0,5	2260
murs de maçonnerie	2,5–9,5	1–5	3285
murs rideaux en métal	0,2	0,5	

Table 3.3.1 Retards de phase pour différents types de murs et toits

On ne calcule pas les valeurs de capacitance pour les toits et les murs étant donné que les propriétés d'inertie représentent mieux les valeurs de "capacitance".

L'inertie correspond au temps que met un effet extérieur à produire un effet intérieur. Dans une étude sur place, l'inertie thermique d'une masse cause le retard entre l'occurrence de la température extérieure minimale et l'occurrence du flux thermique maximal tels qu'enregistrés.(2) Au cours du processus de l'enregistrement des données pour la détermination des valeurs de résistance pour une section de mur et de toit, les lectures de flux thermique et les températures ambiantes extérieures sont enregistrées. La détermination de "l'inertie" se fait par l'analyse des moments appropriés où lesdonnées sont produites. La différence de temps entre chacune donne l'inertie thermique. Un autre programme, TIMELAG, (sur le système VAX) recherche parmi les données les temps appropriés où le flux thermique maximal et les températures ambiantes minimales se produisent.

3.3.5 Affectation du personnel et durées

L'équipe de l'étude sur place comprend un minimum de deux personnes, soit un spécialiste en science du bâtiment et un technicien. La liste ci-dessous énumère les principales tâches à accomplir et la durée prévue pour chacune :

Préparation de l'appareillage à utiliser sur place	2 à 5 jours
Transport de l'appareillage sur les lieux	1 à 2 jours
Montage des appareils sur place, disposition des capteurs	1 à 2 jours
Exécution des essais (par montage)	3 jours (min.)
Vérification ponctuelle des résultats	2 à 3 h par jour
Démontage des appareils et relocalisation	1 jour
Emballage et retour au bureau	2 jours
Analyse des données (1 personne)	10 jours
Rédaction du rapport	10 jours

3.3.6 Documentation: création et conservation des documents de travail

Les données sont recueillies sur bande magnétique et transférées à un micro ou un mini-ordinateur pour analyse. Des graphiques sont tracés, montrant la valeur réelle de la résistance thermique en fonction du temps et de la moyenne des mesures. L'inertie ou le retard thermique peut être déduit à partir de ces graphiques. On produit un rapport qui décrit la méthodologie de la collecte et de l'analyse des données, les emplacements exacts des essais, ainsi que la preuve thermographique que les emplacements de l'essai étaient représentatifs de l'ensemble particulier de mur soumis à l'étude.

Les données obtenues de cet essai sont utilisées pour la détermination précise des modèles de consommation d'énergie pour les bâtiments. Ces renseignements sont utilisés également pour déterminer le rendement thermique global des matériaux d'isolation dans les différents assemblages d'enveloppe dans tout le bâtiment. Les zones de problèmes ou les ponts thermiques ne sont pas identifiés dans cet essai. Ceux-ci sont identifiés par des examens thermographiques et leur degré de gravité est déterminé par l'utilisation de systèmes infrarouges à haute résolution et par le traitement des thermogrammes.

4. RÉFÉRENCES

1. Anderson, B.R.; **Methods in use for Testing Thermal Performance in-situ;** Scottish Laboratory, Building Research Establishment Note 85/83

2. Burch, Douglas M., Krutz, Donald F.; **Using High-resolution Hand Held Radiometers to Measure In-situ Thermal Resistances,** Building PhysicsDivision, Center for Building Technology, National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234.

3. Hewlett Packard Application Note 290 **Practical Temperature Measurements,** August 1980.

4. Stainton, W.D. **Heat Transfer and Building Surface Temperatures,** Feb. 1978

5. Mill, P.A.D.; **Étude thermographique des défectuosités de l'enveloppe du bâtiment,** Rapport no 28.

6. Grot, R., Burch, D., Silberstein, S., Galowin, L.; **Measurement Methods for Evaluation of Thermal Integrity of Building Envelopes;** GSA, November 1982.

7. Latta, J.K.; **Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien;** Conseil national de recherches Canada, décembre 1979.

8. Fracastoro, G.V., Lyberg, M.D.; **Guiding Principles Concerning Design of Experiments, Instrumentation and Measuring Techniques;** Swedish Council For Building Research, Stockholm, Sweden.

9. Roberts, C.C., Reinke, Jr; **Thermal Measurements of Building Envelope Components in the Field;** ASHRAE Journal, March 1982.

10. Bales, Bomberg, M., Courville G.; **Building Applications of Heat Flux Transducers;** ASTM STP 885. Dec. 1985.

11. Flanders, S.M.; **Confidence in Heat Flux Transducer Measurements of Buildings;** ASHRAE Winter Meeting Proceedings, 1985.

5. ANNEXES

5.1 TERMES NORMALISÉS ET UNITÉS DE MESURE STANDARD

capteur de flux thermique dispositif qui génère une tension proportionnelle au flux thermique à l'entrée ou à la sortie d'une surface. Appelé aussi débitmètre thermique, transducteur de flux thermique, fluxmètre thermique.

conducteur thermique processus de transmission de la chaleur à travers un matériau dans lequel l'énergie cinétique des particules est transmise d'une particule à une autre sans déplacement global de celles–ci.

conductivité (k) débit thermique à travers une aire unitaire et une épaisseur unitaire d'un matériau homogène, en régime stable, lorsqu'un gradient unitaire des températures est maintenu dans une direction perpendiculaire à cette aire. Un matériau est considéré comme homogène lorsque la valeur de la conductivité thermique n'est pas influencée par la variation d'épaisseur ou de taille du même matériau, dans les gammes utilisées normalement en construction.

diffusion thermique quantité de chaleur qui traverse normalement une aire unitaire par un temps unitaire, divisée par le produit de la chaleur spécifique, la masse volumique et le gradient des températures. Appelée aussi conductivité thermométrique.

inertie thermique que possède un matériau massif à rester à une certaine température. Matériau doté d'une résistance .

matériau isolant relativement élevée à la transmission thermique, utilisé principalement pour retarder l'écoulement thermique.

perte d'étalonnage modification non intentionnelle de la constitution physique du fil de thermocouple de sorte qu'il ne correspond plus au polynôme du NBS en deçà des limites prescrites.

thermocouple dispositif servant à mesurer les températures, utilisant le fait qu'il y a production d'une force électromotrice lorsque deux soudures de métaux différents dans un circuit électrique se trouvent à des températures différentes.

thermopile série de thermocouples.

transmittance débit thermique par aire unitaire en régime thermiquestable, du fluide du côté chaud d'une barrière a u fluide du côté froid, par différence de température unitaire entre les deux fluides. (U) W/m^2. °C (différence).

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÈGLEMENTS

a) La brochure: "Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments", 1978, Code national du bâtiment du Canada, donne les valeurs RSI acceptables pour différentes régions du pays.

b) Handbook of Fundamentals, de l'ASHRAE.

c) ASTM C518-76 Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter. (Méthoded'essai standard des propriétés de transmission thermique en régime stable à l'aide du capteur de flux thermique.) Il s'agit d'une norme pour appareillage de laboratoire, qui ne présente pas d'application de l'utilisation sur place des capteurs thermiques, autre que leur utilisation possible comme appareil d'étalonnage.

d) ASTM C-168 Standard Definitions of Terms Relating to Thermal Insulation Materials (Définitions normalisées de termes reliés auxmatériaux d'isolation thermique.)

5.3 LIST DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donne un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toîts structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures